

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/005885

International filing date: 01 June 2005 (01.06.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 026 939.4
Filing date: 01 June 2004 (01.06.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 19 July 2005 (19.07.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

10'2004 026 939.4

Anmeldetag:

01. Juni 2004

Anmelder/Inhaber:Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt eV,
53175 Bonn/DE**Bezeichnung:**Verfahren zum Detektieren und zum Löschen von
Latch-Ups sowie Anordnungen zum Durchführen
der Verfahren**IPC:**

H 01 L, H 02 H

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Juni 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wehner

Dipl.-Ing. A. v. Kirschbaum
Patentanwalt

D-82110 Germering
Waldstraße 2b
Telefon: (089) 89 42 73 22

Anwaltsakte: DFO-10325

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
Linder Höhe
51147 Köln

Verfahren zum Detektieren und zum Löschen von Latch-Ups
sowie Anordnungen zum Durchführen der Verfahren

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren von Latch-Ups, ein Verfahren zum Löschen von Latch-Ups sowie Anordnungen zum Durchführen der Verfahren zum Schutz von strahlungsempfindlichen aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung.

In Anwendungsbereichen für elektronische Schaltungen, in denen aufgrund der Umgebungsbedingungen hohe Strahlendosen erwartet werden und trotzdem eine lange Haltbarkeit gefordert wird, wie beispielsweise bei Anwendungen im Weltraum, werden derzeit strahlungsresistente Schaltungskomponenten eingesetzt. Solche strahlungsresistenten Schaltungskomponenten haben den Nachteil, dass sie zum einen erheblich teurer sind als vergleichbare nicht strahlungsresistente Schaltungskomponenten und zum anderen nicht jeder gewünschte Integrationsgrad bzw. Schaltungskomponententyp in strahlungsfester Ausführung erhältlich ist.

Bei Bestrahlung mit hohen Strahlungsdosen zeigen strahlungsempfindliche aktive Schaltungskomponenten im wesentlichen zwei Effekte, nämlich

Langzeiteffekte (Alterung), wie eine durch Gamma-Strahlung erzeugte Verschiebung von Arbeitspunkten, oder eine Einlagerung geladener Teilchen in einen Chip. Diese Effekte sind jedoch in vielen Fällen tolerierbar bzw. kompensierbar.

Plötzliche Effekte (Single Event Effects, SEE), wie „Umkippen“ einzelner Bits in digitalen Schaltungen, Entstehen kurzer Pulse in analogen Schaltungen oder bei CMOS-Schaltungskomponenten auftretende sogenannte Latch-Ups.

Letztere werden dadurch verursacht, dass ionisierende Teilchen, beispielsweise Alpha-, Beta- Schwerionen- oder Protonenstrahlung, den/die parasitär in dem CMOS-Substrat ent-

haltenen Thyristor/en zündet, was einen schnellen Stromanstieg und - ohne Schutzmaßnahmen - eine Zerstörung der Schaltungskomponente zur Folge hat.

- 5 Bisherige Konzepte beschränken sich darauf, die Stromaufnahme einer Schaltung zu messen und abzuschalten, wenn die Stromaufnahme einen eingestellten Sollwert übersteigt; dadurch wird/werden der/die parasitäre/n Thyristor/en gelöscht. Ferner sind auch Schutzschaltungen gebräuchlich,
10 mit welchen nur eine Strombegrenzung vorgenommen wird. (Siehe beispielsweise die Veröffentlichung "Active input filter" von Giulio Simonelli und Philippe Perol, S. 1-6.)

- Die bisher eingesetzten Schaltungen haben folgende Nachteile.
15 le. Eventuelle zur Filterung der Betriebsspannung in der zu schützenden Schaltung vorhandene Kondensatoren entladen sich beim Auftreten eines Latch-Up über den parasitären Thyristor; dies macht eine Zerstörung der jeweils betroffenen Schaltungskomponenten noch wahrscheinlicher, da beispielsweise in einem Chip mehr Energie auf engstem Raum in
20 Wärme umgesetzt wird. Auch fallen Schaltungskomponenten mit einer im Vergleich zu anderen Schaltungskomponenten geringeren Stromaufnahme, in welchen ein Latch-Up ausgelöst wird, neben Schaltungskomponenten mit einer höheren Stromaufnahme in der Schaltung nicht auf, so dass auch keine
25 rechtzeitige Abschaltung vorgenommen wird bzw. werden kann.

- Schaltungen mit veränderlicher oder pulsartiger Stromaufnahme können ohnehin nur unzureichend geschützt werden. Ein
30 Spannungsabfall an einem Strommesswiderstand führt dazu, dass die zu schützende Schaltung mit weniger als der Nominalspannung versorgt wird, insbesondere dann, wenn deren

Stromaufnahme stark schwankt, und somit eine Primärspannungserhöhung zur Kompensation nicht in Frage kommt.

5 Aufgabe der Erfindung ist es, Verfahren zum Detektieren sowie zum Löschen von Latch-Ups anzugeben, mit welchen die Nachteile und Beschränkungen der bisher angewendeten Maßnahmen beseitigt sind. Um eine Konvertierung strahlungsempfindlicher Schaltungsdesigns bei Anwendungen mit einer Einwirkung hoher Strahlendosen zu ermöglichen, ist es ferner
10 Aufgabe der Erfindung, ein Spannungsversorgungskonzept anzugeben, mit welchem konventionelle, nicht strahlungsresistente Schaltungskomponenten vor einer Zerstörung bei Auftreten eines Latch-Up geschützt sind.

15 Gemäß der Erfindung wird zum Detektieren von Latch-Ups eine strombegrenzte Spannungsquelle verwendet und unter Spannung detektiert. Des weiteren wird zum Löschen von Latch-Ups die Versorgungsspannung abgeschaltet und in der Schaltung befindliche Ladung mittels eines Kurzschlusschalters abgebaut.
20

Bei einer Anordnung zum Durchführen der Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2 zum Schutz von strahlungsempfindlichen aktiven Schaltungselementen einer elektronischen Schaltung
25 ist die elektronische Schaltung in Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich ähnlich großer Stromaufnahme unterteilt. Ferner ist mindestens einer dieser Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich ähnlich großer Stromaufnahme eine Schutzschaltung zugeordnet.
30

Das erfindungsgemäße Konzept geht somit über ein bisher übliches, einfaches Abschalten bei Überschreiten bestimmter Spannungs- oder Stromwerte hinaus. Gemäß dem Grundgedanken der Erfindung wird die zu schützende elektronische Schaltung in kleine, vorzugsweise möglichst kleine Gruppen von Schaltungskomponenten mit ähnlicher, d.h. in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großer Stromaufnahme aufgeteilt, damit ein Latch-Up in Schaltungskomponenten bzw. Gruppen von Schaltungskomponenten mit im Vergleich zu anderen Schaltungskomponenten geringeren Stromaufnahme eindeutig von normalen Änderungen im Versorgungsstrom einer Schaltungskomponente bzw. Gruppen von Schaltungskomponenten mit einer höheren, gegebenenfalls erheblich größeren Stromaufnahme unterschieden werden kann.

15

Gemäß der Erfindung ist hierzu für jede dieser Gruppen von Schaltungskomponenten mit einer ähnlichen, d.h. in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großen Stromaufnahme über eine - an die Versorgungsspannung und Stromaufnahme der jeweiligen Gruppe angepasste - Schutzschaltung vorgesehen. In jeder dieser Schutzschaltungen sind eine Strombegrenzung, eine Spannungsregelung mit Unterspannungsüberwachung und ein Kurzschlussschalter kombiniert.

20

25 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind zum Abschalten von mehreren oder allen Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten, welchen jeweils eine Schutzschaltung zugeordnet ist, eine Signalisierungsleitung und eine Steuerleitung vorgesehen, welche die Schutzschaltungen der zusammengefassten Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten ausgangsseitig verbinden. Ferner sind die Signalleitungen

30

und die Steuerleitung mit einem zentralen Monoflop verbunden.

5 Sobald ein Latch-Up in einer Gruppe von einer der Schutzschaltungen detektiert wird, wird die Signalisierungsleitung gesetzt und dadurch das zentrale Monoflop gestartet. Durch das Monoflop werden dann über die Steuerleitung wiederum alle Spannungsregler der einzelnen Schutzschaltungen ausgeschaltet und alle Kurzschlussschalter dieser Schutz-

10 schaltungen aktiviert. Nach einer vorgegebenen Einschaltverzögerung werden alle Versorgungsspannungen wieder eingeschaltet und dadurch die zu schützende elektronische Schaltung wieder gemeinsam hochgefahren.

15 Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Zeichnungen im einzelnen erläutert. Es zeigen:

Fig.1 eine Schaltungstopologie mit einer Latch-Up-Detektion gemäß der Erfindung;

20

Fig.2 eine Ausführungsform einer Schutzschaltung zum Schutz einer Gruppe von Schaltungskomponenten, und

25 Fig.3 eine Schaltungsanordnung zum Schutz von mehreren Gruppen von Schaltungskomponenten.

Entsprechend dem erfindungsgemäßen Konzept, eine zu schützende elektronische Schaltung in vorzugsweise möglichst

30 kleine Gruppen von Schaltungskomponenten mit ähnlicher, d.h. in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großer Stromaufnahme zu unterteilen, ist in Fig.1 ein Beispiel ei-

ner Schaltungstopologie schematisiert dargestellt. In dem
wiedergegebenen Beispiel werden von einem Netzteil ein
Zentralrechner CPU sowie beispielsweise ein Flash-Eprom,
ein Analog-Digital-Wandler ADC sowie beispielsweise zwei
5 RAM-Speicher mit Strom versorgt.

Gemäß der Erfindung ist jeder der vorstehend als Beispiel
angeführten Schaltungskomponenten CPU bis RAM eine Schutz-
schaltung SSG zugeordnet. Auf diese Weise kann ein Latch-Up
10 in einer der Schaltungskomponenten mit einer verhältnismä-
ßig kleinen Stromaufnahme eindeutig und zuverlässig von
beispielsweise einer Änderung im Versorgungsstrom einer
Schaltungskomponente mit einer erheblich größeren Stromauf-
nahme unterschieden werden.

15

Sobald daher in einer der angeschlossenen Schaltungskompo-
nenten ein Latch-Up auftritt, steigt in der betroffenen
Schaltungskomponente die Stromaufnahme entsprechend an,
worauf ein in der zugeordneten Schutzschaltung vorgesehener
20 Stromregler eingreift und den Stromfluss in die angeschlos-
sene Schaltungskomponente begrenzt. Dadurch sinkt die Span-
nung am Ausgang unter eine vorgegebene Toleranzschwelle, so
dass die Abschaltung der Versorgungsspannung stattfindet
und beispielsweise, was nachstehend im einzelnen noch näher
25 ausgeführt wird, ein nachgeordneter Kurzschlusschalter ak-
tiviert wird. Dadurch erfolgt innerhalb weniger Mikrosekun-
den ein Sperren des Stroms. Der durch ein Latch-Up gezünde-
te parasitäre Thyristor wird somit vor der Zerstörung der
jeweiligen Schaltungskomponente gelöscht.

30

Gemäß der Erfindung kann eine einzelne von dem Latch-Up be-
troffene Gruppe von Schaltungselementen abgeschaltet werden

oder gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung können beim Auftreten eines Latch-Up in einer Gruppe von Schaltungselementen auch mehrere oder vorteilhafterweise auch alle Gruppen von Schaltungskomponenten einer elektro-
 5 nischen Schaltung ausgeschaltet und nach einer gewissen Verzögerung wieder eingeschaltet werden, was nachstehend anhand von Fig.3 näher erläutert wird.

Wie in Fig.2 dargestellt, weist eine Schutzschaltung SSG im wesentlichen zur Glättung der Versorgungsspannung einen
 10 Filterkondensator C_{IN} , einen abschaltbaren linearen Spannungsregler SR mit einstellbarer Strombegrenzung, einen Komparator COMP zur Unterspannungsdetektion, ein Monoflop MF, einen Kurzschlussschalter KS mit vorgeschaltetem Strom-
 15 begrenzer SG und einen Kondensator C_{OUT} am Ausgang auf. Hierbei kann der Spannungsregler SR beispielsweise aus zwei Operationsverstärkern OP_1 , OP_2 , einem Shunt SH und einem Verstärkerelement VE bestehen.

20 Die von einem Netzteil kommende unregelte Spannung U_{IN} wird zunächst mittels des Filterkondensators C_{IN} geglättet. Mittels des Shunt SH wird eine dem Stromfluss proportionale Spannung erzeugt. Im Normalbetrieb der angeschlossenen Schaltung ist diese Spannung kleiner als U_{BIAS} , weswegen der
 25 Operationsverstärker OP_1 (Strombegrenzung) des Spannungsreglers SR nicht in die Regelung eingreift. Mittels des Operationsverstärkers OP_2 wird die Ausgangsspannung mit einer vorgegebenen Sollspannung U_{REF} verglichen und mittels des Stellglieds SG, das ein bipolarer oder strahlungsfester
 30 Feldeffekttransistor ist, solange nachgeregelt, bis die Ausgangsspannung U_{OUT} gleich einer Referenzspannung U_{REF} ist.

Tritt nun in einer angeschlossenen Schaltungsgruppe ein Latch-Up auf, so steigt die Stromaufnahme solange an, bis die Spannung am Shunt SH gleich der Spannung U_{BRAS} ist. Damit greift die Strombegrenzung in die Spannungsregelung ein und begrenzt den Stromfluss in die angeschlossene Schaltungsgruppe. Dadurch sinkt die Spannung am Ausgang soweit ab, dass sie unter eine Toleranzschwelle ($U_{REF} - U_{TOL}$) fällt und dadurch den Komparator COMP auslöst. Der Komparator COMP sperrt mit Hilfe des Verstärkungselements VE den Strom und aktiviert den Kurzschlusschalter KS.

Der Kurzschlusschalter KS entlädt innerhalb weniger Mikrosekunden den Kondensator C_{OUT} am Ausgang und alle Kapazitäten, welche in der zu schützenden Schaltung selbst die Betriebsspannung stützen. Durch den Strombegrenzer SG wird der Kurzschlusschalter KS geschützt. Das Monoflop MF begrenzt die Abschaltzeit auf einige Millisekunden und sorgt so für eine automatische Rückstellung und ein Wiederanlaufen der Versorgungsspannung.

Durch das kurzzeitige Abschalten der Versorgungsspannung für die angeschlossene Gruppe von Schaltungskomponenten wird der durch den Latch-Up gezündete parasitäre Thyristor vor der Zerstörung des betroffenen Bauteils wieder gelöscht. Die Schaltung wird anschließend wieder neu gestartet.

Die vorstehend beschriebene Schaltung wird eingesetzt, wenn beim Auftreten eines Latch-Up nur eine einzelne Gruppe von Schaltungskomponenten abgeschaltet und vollkommen entladen werden soll. Häufig wird nicht nur gewünscht, sondern ist es im allgemeinen auch sehr zweckmäßig und sinnvoll, dass

beim Auftreten eines Latch-Up in einer Gruppe von Schaltungskomponenten mehrere oder alle Gruppen von Schaltungselementen einer elektronischen Schaltung aus- und wieder eingeschaltet werden, um Querströme zu vermeiden. Beispielsweise soll in einer Prozessorschaltung ein Latch-Up in einem Speicherbaustein zu einem Abschalten und einem Wiederanlaufen des Prozessors führen.

In diesem Fall kommt folgende Topologie zur Anwendung:

10 Im Unterschied zum Abschalten einer einzelnen Gruppe von Schaltungskomponenten sind zum Abschalten von mehreren oder allen Gruppen von Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung ausgangsseitig eine Signalisierungsleitung SIL und eine Steuerleitung STL vorgesehen, welche die einzelnen Schutzschaltungen SSG der Gruppen von Schaltungskomponenten verbinden, und welche mit einem zentralen Monoflop MF_z verbunden sind.

20 Detektiert eine der Schutzschaltungen SSG einen Latch-Up, so setzt diese Schutzschaltung SSG die Signalisierungsleitung SIL. Dadurch wird das zentrale Monoflop MF_z gestartet, das über die Steuerleitung STL wiederum alle Spannungsregler SR ausschaltet und alle Kurzschlusschalter KS aktiviert. Nach Ablauf des Monoflops werden die Gruppen wieder
25 gemeinsam eingeschaltet.

Die gemäß der Erfindung mehreren oder allen Gruppen von Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung zugeordneten Schutzschaltungen SSG weisen gegenüber den aus dem
30 Stand der Technik bekannten "Schutzschaltungen" folgende Vorteile auf:

Eine Integration der Schutzschaltungen SSG ist einfach und platzsparend möglich, da ein Spannungsreglerbaustein verwendet werden kann, welcher abschaltbar ist und bereits Spannungs- und Stromregler, sowie Unterspannungsdetektion
5 enthält.

Die Schwelle, ab welcher eine Strombegrenzung erfolgt, kann von außen durch eine analoge Spannung eingestellt werden. Dadurch kann die Schuttschwelle nachgestellt werden, wenn die normale Stromaufnahme der zu schützenden Gruppe von
10 Schaltungskomponenten (wegen durch Bestrahlung auftretender höherer Leckströme) während der Einsatzdauer angestiegen ist.

Pulsweise auftretende Ströme, wie sie Digitalschaltungen erzeugen, werden von einem entsprechend dimensionierten
15 Filterkondensator am Ausgang gepuffert, so dass solche pulsweise auftretenden Ströme nicht zur Auslösung einer der Schutzschaltungen führen kann.

Der Spannungsabfall am Strommesswiderstand wird ausgeregelt, sodass der angeschlossenen Schaltung unabhängig von
20 der Stromaufnahme immer eine konstante Spannung zur Verfügung steht.

Bestimmungsgemäß entlädt der Kurzschlusschalter KS alle angeschlossenen Kondensatoren, sodass die hier gespeicherte Energie nicht im parasitären Thyristor der betroffenen
25 Schaltungskomponente vernichtet werden muss.

Diese Verkopplung vermeidet die Entstehung von Querströmen in komplexen elektrischen Schaltungen durch die gleichzeitige Aktivierung aller Schutzschaltungen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren von Latch-Ups, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine strombegrenzte Spannungsquelle verwendet wird und unter Spannung detektiert wird.

2. Verfahren zum Löschen von Latch-Ups, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach Detektion die Versorgungsspannung abgeschaltet wird und in der Schaltung befindliche Ladung mittels eines Kurzschlusschalters (KS) abgebaut wird.

3. Anordnung zum Durchführen der Verfahren nach Anspruch 1 und 2 zum Schutz von strahlungsempfindlichen aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Schaltung als Einheit einer Schutzschaltung (SSG) zugeordnet ist.

4. Anordnung zum Durchführen der Verfahren nach Anspruch 1 und 2 zum Schutz von strahlungsempfindlichen aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Schaltung in Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich ähnlich großer Stromaufnahme unterteilt ist, und mindestens einer dieser Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großer Stromaufnahme eine Schutzschaltung (SSG) zugeordnet ist.

5. Anordnung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschaltung einen abschaltbaren Spannungsregler (SR) mit einstellbarer Strombegrenzung, ein Stellglied (SG), einen Vergleicher (COMP) zur Detektion von

Unterspannung, einem Monoflop (MF), einen Kurzschlussschalter (KS) mit Strombegrenzung und am Ausgang mindestens einen Kondensator (C_{OUT}) aufweist.

5 6. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einheit zur Stromdetektierung vor der Einheit zur Spannungsregelung angeordnet ist und somit ein Einfluss des Ausgangsstroms auf die Ausgangsspannung vermieden ist.

10 7. Anordnung nach einem der Ansprüche 4 und 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Abschalten von mehreren oder allen Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung, denen jeweils eine Schutzschaltung (SSG) zugeordnet ist, eine Signalisierungsleitung (SIL) und eine
15 Steuerleitung (STL) vorgesehen sind, welche die Schutzschaltungen (SSG) der zusammengefassten Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten ausgangsseitig verbinden und ihrerseits mit einem zentralen Monoflop (MF_z) verbunden sind, so
20 dass bei Detektion eines Latch-Up in einer der Schutzschaltungen (SSG) über die Signalisierungsleitung (SIL) das zentrale Monoflop (MF_z) gestartet wird, worauf über die Steuerleitung (STL) alle Spannungsregler (SR) ausgeschaltet und alle Kurzschlussschalter (KS) der Schutzschaltungen (SSG) aktiviert werden und nach einer vorgegebenen Verzögerung
25 die Versorgungsspannung wieder eingeschaltet wird.

Zusammenfassung

5 Gemäß der Erfindung wird zum Detektieren von Latch-Ups eine strombegrenzte Spannungsquelle verwendet und Unterspannung detektiert. Ferner wird zum Löschen von Latch-Ups nach Detektion die Versorgungsspannung abgeschaltet und in der Schaltung befindliche Ladung wird mittels eines Kurzschluss Schalters abgebaut.

10

Zum Schutz von strahlungsempfindlichen aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung ist diese als Einheit einer Schutzschaltung zugeordnet. Ferner kann die elektronische Schaltung in Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich ähnlich großer Stromaufnahme unterteilt sein. Dabei ist mindestens eine dieser Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großer Stromaufnahme eine Schutzschaltung zugeordnet.

20

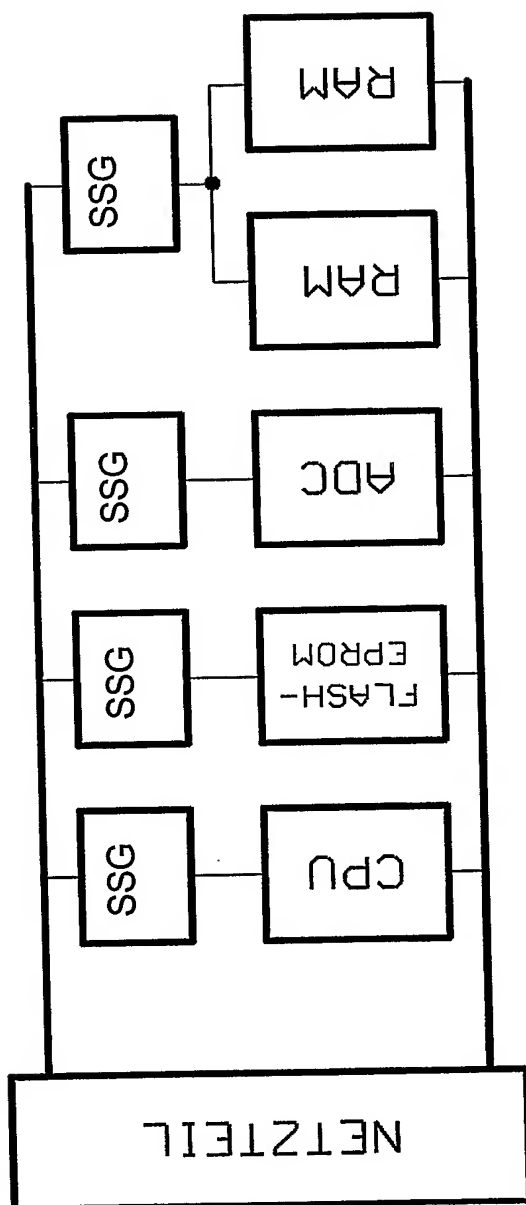


Fig. 1

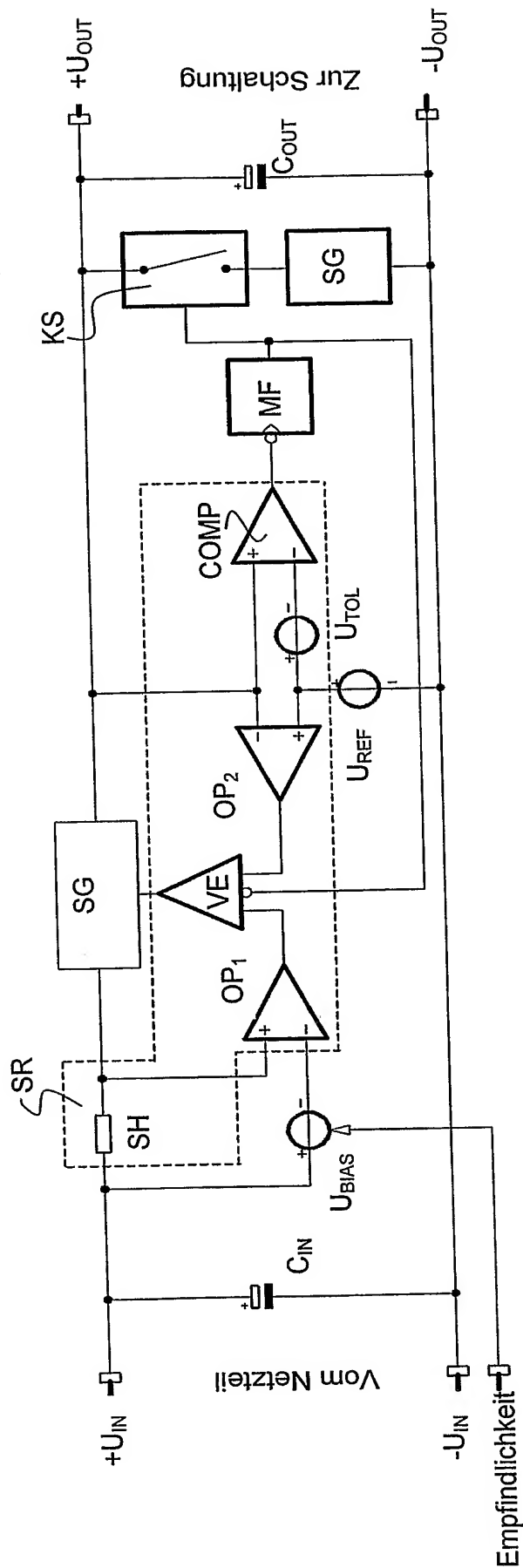


Fig.2

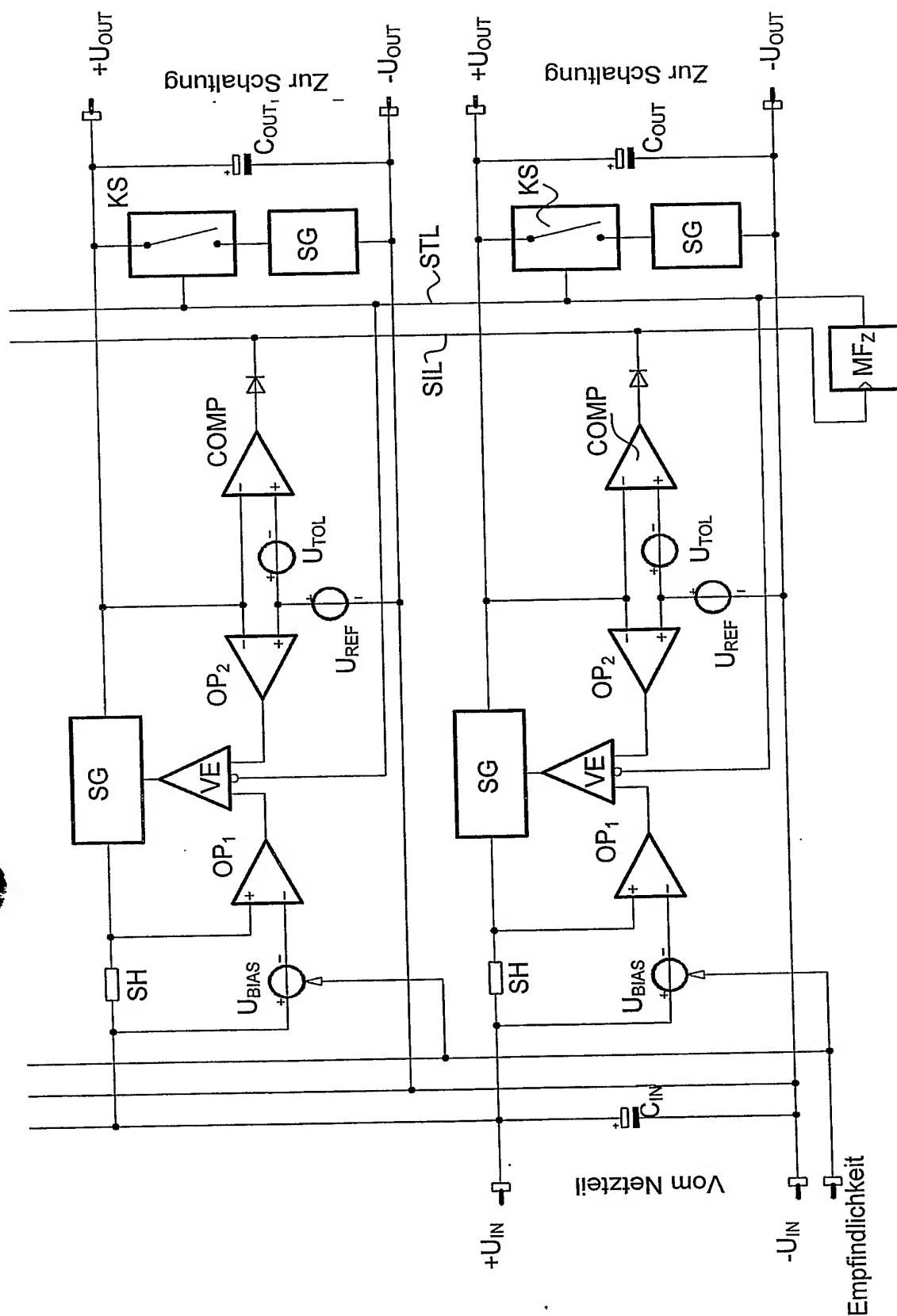


Fig. 3